

Prüfung aus Grundlagen der Thermodynamik Teil 1, 5.3.2004

B1 Eine Maschine mit idealem Gas gegebener konstanter spezifischer Wärmekapazitäten arbeitet nach folgendem reversiblen Kreisprozeß:

- 1 → 2 isochore Entspannung;
- 2 → 3 isotherme Expansion;
- 3 → 1 adiabate Kompression.

- a) Zeichnen Sie die Zustandsänderungen in ein p, v - und ein T, s -Diagramm ein. Skizzieren Sie in den Diagrammen die Nettoarbeit und die zu- bzw. abgeführten Wärmemengen. Handelt es sich bei dieser Maschine um eine Wärmekraft- oder eine Kältemaschine?
- b) Berechnen Sie die zu- bzw. abgeführten Wärmemengen.
- c) Berechnen Sie die Leistungszahl als Funktion von T_1 und T_2 .

Es gilt:

$$v_1 = v_2, \quad T_2 = T_3, \quad v_3 = v_1 \left(\frac{T_3}{T_1} \right)^{1/(\kappa-1)}$$

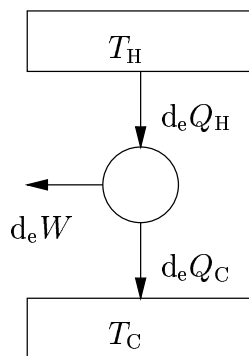
$$q_{12} = c_v(T_2 - T_1),$$

$$q_{23} = -w_{23} = RT_2 \ln \frac{v_3}{v_1} = c_v T_2 \ln \frac{T_1}{T_2}$$

$$\varepsilon = \frac{q_{zu}}{|q_{ab}| - q_{zu}} = \frac{q_{23}}{-q_{12} - q_{23}} = \frac{\ln \frac{T_1}{T_2}}{\frac{T_1}{T_2} - 1 - \ln \frac{T_1}{T_2}}$$

B2 Eine reversibel arbeitende Wärmekraftmaschine arbeitet zwischen zwei endlichen Körpern (siehe Skizze) mit den Anfangstemperaturen $T_{H,0}$ und $T_{C,0}$ ($T_{H,0} > T_{C,0}$). Die Körper haben die Wärmekapazitäten C_{pH} und C_{pC} . Im Laufe des Prozesses sinkt die Temperatur T_H , während die Temperatur T_C steigt.

- a) Geben Sie die von der Maschine abgegebene Arbeit W_{01} für eine bestimmte Endtemperatur $T_{H,1}$ als Funktion von $T_{H,0}$, $T_{C,0}$, C_{pH} , C_{pC} sowie $T_{H,1}$ an.
- b) Wie groß ist die kleinste erreichbare Temperatur $T_{H,min}$?



Entropiebilanz:

$$dS = \frac{dQ_H}{T_H} + \frac{dQ_C}{T_C} = 0$$

Mit $dQ_H = C_{pH} dT_H$ bzw. $dQ_C = C_{pC} dT_C$ erhält man:

$$T_C = T_{C,0} \left(\frac{T_{H,0}}{T_H} \right)^{C_{pH}} C_{pC}$$

a) 1. Hauptsatz:

$$W_{01} = C_{pH}(T_{H,0} - T_H) - C_{pC}(T_C - T_{C,0})$$

b) Temperaturlausgleich: $T_{H,\min} = T_{C,\max} = T^*$ mit

$$T^* = T_{H,0} \frac{c_{pH}}{c_{pH} + c_{pC}} T_{C,0} \frac{c_{pC}}{c_{pH} + c_{pC}}$$

B3 Ungesättigte feuchte Luft mit der trockenen Luftmasse $m_L = 50 \text{ kg}$ und dem Wassergehalt $x_1 = 0,015$ soll durch das Zerstäuben von Wasser ($\vartheta_W = 10 \text{ }^\circ\text{C}$) isobar ($p = 1 \text{ bar}$) in einen Zustand "M" ($\vartheta_M = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, $x_M = 0,03$) übergeführt werden.

- Berechnen Sie die zu zerstäubende Wassermasse m_W . In welchem Gebiet befindet sich der Zustand "M"?
- Wieviel flüssiges Wasser $m_{F,M}$ muß bei einer isobar-isothermen Zustandsänderung ausgehend vom Zustand "M" entnommen werden, damit der Sättigungszustand erreicht wird?
- Berechnen Sie die Ausgangstemperatur der feuchten Luft ϑ_1 .

$$x_D = \frac{M_W}{M_L} \frac{p_D}{p - p_D}, \quad \frac{M_W}{M_L} = 0,622. \quad (1)$$

$$c_{pL} = 1,00 \text{ kJ/kgK}, \quad c_{pD} = 1,86 \text{ kJ/kgK}, \quad c_{pF} = 4,19 \text{ kJ/kgK}, \quad r_0 = 2502 \text{ kJ/kg}. \quad (2)$$

Dampfdruck-
tabelle für
Wasser:

ϑ °C	p_s mbar
20	23,38
21	24,86
22	26,43
23	28,09
25	31,66

a)

$$m_W = m_L(x_m - x_1) = 0,75 \text{ kg}$$

b)

$$x_{s,M} = 0,0203$$

$$m_{F,M} = m_L(x_3 - x_{s,M}) = 0,483 \text{ kg}$$

c) 1.Hauptsatz (isobarer Mischvorgang):

$$H_1 + H_W = H_M$$

$$H_M = 3892,7 \text{ kJ}$$

$$H_W = m_W c_{pF} \vartheta_W = 31,4 \text{ kJ}$$

$$h_{1+x,1} = 77,23 \text{ kJ/kg}$$

$$\vartheta_1 = \frac{h_{1+x,1} - r x_1}{c_{p,L} + c_{p,D} x_1} = 38,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

B4 Quecksilber ($m = 123 \text{ g}$) wird ausgehend von der Temperatur $\vartheta_1 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ (Druck $p_1 = 1 \text{ bar}$) auf $\vartheta_2 = 33 \text{ }^\circ\text{C}$ erwärmt.

a) Auf welchen Wert p_2 steigt der Druck, wenn sich das Quecksilber in einer starren Kugel befindet.

b) Um welchen Wert Δv ändert sich das Volumen, wenn die Temperaturänderung bei Umgebungsdruck stattfindet.

$$\beta = 181,9 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}, \quad \chi = 39 \times 10^{-12} \text{ Pa}^{-1}, \quad \rho = 13,5 \text{ kg/dm}^3.$$

a)

$$V = m/\rho = 9,11 \text{ cm}^3$$

$$p_2 \frac{\beta}{\chi} \Delta T + p_1 = 140,9 \text{ bar}$$

b)

$$\Delta V = V\beta\Delta T = 4,971 \text{ mm}^3$$

$$\Delta v = \frac{\beta}{\rho} \Delta T = 40,14 \text{ mm}^3/\text{kg}$$

B5 In einem Zylinder, der durch einen reibungsfrei beweglichen Kolben verschlossen ist, befindet sich ein Zweiphasengemisch aus flüssigem und dampfförmigen Wasser ($V_1 = 100 \text{ dm}^3$; $x_1 = 0,25$; $\vartheta_1 = 150 \text{ }^\circ\text{C}$).

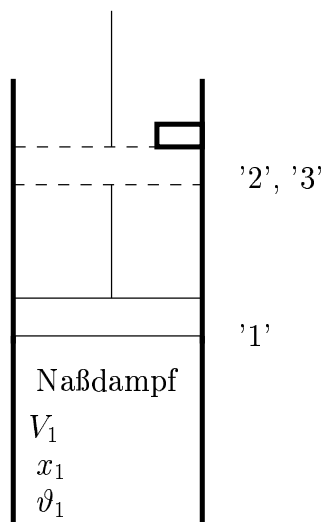
Es werden folgende Teilprozesse durchgeführt:

1→2 reversibel adiabate Expansion bis $p_2 = 1,013 \text{ bar}$

2→3 isochore Wärmezufuhr (Kolben wird in Position 2 gehalten), bis $p_3 = 3,614 \text{ bar}$ und $x_3 = 0,9714$

Berechnen Sie

- die im Zylinder befindliche Masse m ;
- den Dampfgehalt x_2 im Zustand 2;
- die für die Zustandsänderung 2→3 zuzuführende Wärme Q_{23} .



a)

$$v_1 98,92 \text{ dm}^3, \quad m = 1,011 \text{ kg}$$

b) $s_2 = s_1$, da reversible adiabate Expansion

$$s_2 = 3,0902 \text{ kJ/kg/K}$$

$$x_2 = \frac{s_2 - s_2'}{s_2' - s_2'} = 0,2948$$

oder da $v_3 = v_2' = 493,99 \text{ dm}^3/\text{kg}$

$$x_2 = \frac{v_2 - v_2'}{v_2' - v_2'} = 0,2948$$

c)

$$Q_{23} = U_3 - U_2 = m(h_3 - h_2 - v_3(p_3 - p_2))$$

$$h_2 = 1084,21 \text{ kJ/kg}, \quad h_2 = 2671,78 \text{ kJ/kg}, \quad (p_3 - p_2)v_3 = 128,47 \text{ kJ/kg}.$$

$$u_3 - u_2 = 1459,07 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{23} = 1475,12 \text{ kJ}.$$

Dampftafel für Wasser

ϑ °C	p bar	v' dm ³ /kg	v'' m ³ /kg	h' kJ/kg	h'' kJ/kg	r kJ/kg	s' kJ/kgK	s'' kJ/kgK
0,01	0,006112	1,0002	206,2	0,000	2501,6	2501,6	0,0000	9,1575
5	0,008718	1,0000	147,2	21,01	2510,7	2489,7	0,0762	9,0269
10	0,01227	1,0003	106,4	41,99	2519,9	2477,9	0,1510	8,9020
15	0,01704	1,0008	77,98	62,94	2529,1	2466,1	0,2243	8,7826
20	0,02337	1,0017	57,84	83,86	2538,2	2454,3	0,2963	8,6684
25	0,03166	1,0029	43,40	104,77	2547,3	2442,5	0,3670	8,5592
90	0,7011	1,0361	2,361	376,94	2660,1	2283,2	1,1925	7,4799
100	1,0133	1,0437	1,6730	419,1	2676,0	2256,9	1,3069	7,3554
110	1,4327	1,0519	1,2010	461,3	2691,3	2230,0	1,4185	7,2388
120	1,9854	1,0606	0,8915	503,7	2706,0	2202,3	1,5276	7,1293
130	2,701	1,0700	0,6681	546,3	2719,9	2173,6	1,6344	7,0261
140	3,614	1,0800	0,5085	589,1	2733,1	2144,0	1,7390	6,9284
150	4,760	1,0908	0,3924	632,2	2745,4	2112,2	1,8416	6,8358
160	6,181	1,1022	0,3068	675,5	2756,7	2081,2	1,9425	6,7475
170	7,920	1,1145	0,2426	719,1	2767,1	2048,0	2,0416	6,6630
180	10,027	1,1275	0,1938	763,1	2776,3	2013,2	2,1393	6,5819
190	12,551	1,1415	0,1563	807,5	2784,3	1976,8	2,2356	6,5036
200	15,549	1,1565	0,1272	852,4	2790,9	1938,5	2,3307	6,4278
210	19,077	1,173	0,1042	897,5	2796,2	1898,7	2,4247	6,3539
220	23,198	1,190	0,08604	943,7	2799,9	1856,2	2,5178	6,2817
230	27,976	1,209	0,07145	990,3	2802,0	1811,7	2,6102	6,2107
240	33,478	1,229	0,05965	1037,6	2802,2	1764,6	2,7020	6,1406
250	39,776	1,251	0,05004	1085,8	2800,4	1714,6	2,7935	6,0708
260	46,934	1,276	0,04213	1134,9	2796,4	1661,5	2,8848	6,0010
270	55,058	1,303	0,03559	1185,2	2789,9	1604,6	2,9763	5,9304
280	64,202	1,332	0,3013	1236,8	2780,4	1543,6	3,0683	5,8556
290	74,641	1,366	0,02554	1290,0	2767,6	1477,6	3,1611	5,7848
300	85,927	1,404	0,02165	1345,0	2751,0	1406,0	3,2552	5,7081
310	98,700	1,448	0,01833	1402,4	2730,0	1327,6	3,3512	5,6278
320	112,89	1,500	0,01548	1462,6	2703,0	1241,1	3,4500	5,5423
330	128,63	1,562	0,01299	1526,5	2670,2	1143,6	3,5528	5,4990
340	146,05	1,639	0,01078	1595,5	2626,2	1030,7	3,6616	5,3427
350	165,35	1,741	0,00880	1671,9	2567,7	895,7	3,7800	5,2177
360	186,75	1,896	0,00694	1764,2	2485,4	721,3	3,9210	5,0600
370	210,54	2,214	0,00497	1890,2	2342,8	452,6	4,1108	4,8144
374,15	221,2	3,170	0,00317	2107,4	2107,4	0	4,4429	4,4229